



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## FILTRACE VZDUCHU V SYSTÉMECH VZDUCHOTECHNIKY

THE FILTRATION IN AIR CONDITIONING SYSTEMS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Viktorin

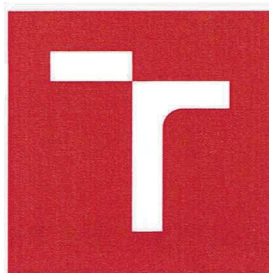
### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2017





# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3608T001 Pozemní stavby
PRACOVISTĚ	Ústav technických zařízení budov


## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Michal Viktorin
NÁZEV	Filtrace vzduchu v systémech vzduchotechniky
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016



doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.  
Vedoucí ústavu

  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální právní předpisy ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

### A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a právní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Teoretická rešerše dosavadních znalostí a technická řešení v praxi

### B. Aplikace tématu na zadané budově

Návrh technického řešení ve 2 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozsahu studie projektu s grafickými výstupy výkresů (půdorysy v měřítku min. 1:100). Hodnocení navržených variant z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu provozování zařízení a ekonomiky provozu.

### C. Experimentální řešení a zpracování výsledků

Experiment realizovaný v reálné budově nebo laboratoři TZB postihující zadanou problematiku. Součástí experimentu bude vyhodnocení aerosolového mikroklima měřených prostorů a popis metody včetně přístrojové techniky.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....  
doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Diplomová práce je rozdělena do tří částí, analýzy tématu a zvolené metody řešení, aplikace tématu na zadané budově a experimentálního řešení a zpracování výsledků

První část je teoretická. Je o filtraci vzduchu z hlediska normových a právních požadavků a variantách technických řešení filtrace vzduchu.

Ve druhé části jsou uvedena dvě technická řešení vzduchotechnických systémů pro plastickou chirurgii.

Třetí část je experimentální. Je o měření počtu částic ve vzduchu na operačním sále a vyhodnocení měření.

## **Klíčová slova**

Filtrace, hrubé filtry, jemné filtry, Hepa, Ulpa, vzduchotechnika, aerosol, mikroklima.

## **Abstract**

The diploma thesis is divided into three parts, analysis of the topic and the chosen method of solutions, application to specified building and experimental solutions and data processing

The first part is theoretical. It is about air filtration in terms of normative and legal requirements and variants of technical solutions for air filtration.

In the second part there are two technical solutions for HVAC systems for plastic surgery.

The third part is experimental. It is the measurement of the number of particles in the air in the operating room and the evaluation of the measurement.

## **Keywords**

Filtration, coarse filters, fine filters, HEPA, ULPA, air conditioning, aerosol, microclimate.



### **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Michal Viktorin *Filtrace vzduchu v systémech vzduchotechniky*. Brno, 2015. 112 s., 4 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

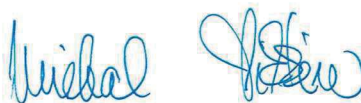




**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. ledna 2017



.....  
podpis autora  
Bc. Michal Viktorin

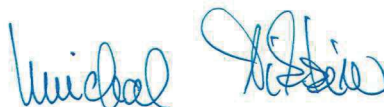


# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. ledna 2017



.....  
podpis autora  
Bc. Michal Viktorin



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Aleši Rubinovi, Ph.D. za velmi cenné rady, zkušenosti, čas, ochotu a příkladné vedení, mé diplomové práce. Dále děkuji investorovi plastické chirurgie za vstřícnost a umožnění experimentálního měření.





<b>ÚVOD .....</b>	<b>19</b>
<b>ČÁST A - ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ</b>	
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>23</b>
1.1 Analýza zadaného tématu.....	23
1.2 Cíl práce, zvolené metody řešení .....	23
<b>2 NORMOVÉ A PRÁVNÍ PODKLADY.....</b>	<b>24</b>
2.1 Normové podklady .....	24
2.2 Filtry pro běžné větrání .....	24
2.3 Zkoušení filtrů .....	25
2.3.1 Zkušební trať.....	26
2.3.2 Odběr testovacího aerosolu .....	26
2.3.3 Požadavky na zkušební vzduch .....	27
2.3.4 Zkušební aerosol .....	28
2.3.5 Syntetický zátěžový prach.....	28
2.4 Vysoce účinné filtry .....	28
2.5 Právní podklady .....	31
<b>3 TEORIE ODLUČOVÁNÍ ČÁSTIC.....</b>	<b>33</b>
3.1 Princip odlučování částic.....	33
3.2 Odlučivost filtrace podle ČSN EN 779.....	35
3.2.1 Velikosti částic .....	36
3.3 Třídy filtrace .....	37
3.3.1 G – Hrubé filtry (Coarse filter) .....	37
3.3.2 F – Jemné filtry (Fine filter).....	38
3.3.3 H – Mikročástice Hepa filter .....	39
3.3.4 U – Mikročástice Ulpa filter .....	40
<b>4 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>40</b>
4.1 Filtry.....	41
4.1.1 Kapsový.....	41

4.1.2	Deskový (Rámečkový) .....	41
4.1.3	Kompaktní.....	41
4.1.4	Kovový .....	42
4.1.5	Tukový s vaničkou.....	42
4.1.6	Nanofiltry.....	42
4.1.7	Elektrofiltry .....	42
4.1.8	Sorpční filtry .....	43
4.1.9	Proplétané vložkové filtry .....	44
4.1.10	Filtrace vzduchu ředěním .....	44
4.2	Účinnost filtrace .....	44
4.3	Tlaková ztráta filtru .....	45
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>46</b>

## **ČÁST - B APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ**

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>49</b>
<b>2</b>	<b>TECHNICKÉ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>50</b>
2.1	Části technického řešení, které jsou shodně řešeny v obou variantách.....	50
2.1.1	Tepelné ztráty .....	50
2.1.2	Tepelná zátěž .....	50
2.1.3	Dochlazování vybraných místností.....	52
2.2	Technické řešení č. 1 .....	52
2.2.1	Tlakové poměry .....	53
2.2.2	Návrh distribučních elementů.....	54
2.2.3	Součásti vzduchotechnického systému .....	55
2.2.4	Vzduchotechnická jednotka.....	56
2.2.5	Tlumiče hluku.....	56
2.2.6	Orientační náklady na realizaci u varianty číslo 1 .....	59
2.3	Technické řešení č. 2 .....	59
2.3.1	Tlakové poměry .....	60





2.3.2	Rozdělení na funkční celky .....	61
2.3.3	Návrh distribučních elementů .....	62
2.3.4	Součásti vzduchotechnického systému .....	63
2.3.5	Návrh vzduchotechnické jednotky .....	63
2.3.6	Orientační náklady na realizaci u varianty číslo 2 .....	66
2.4	Hodnocení navržených variant .....	67
2.4.1	Z hlediska vnitřního prostředí .....	67
2.4.2	Z hlediska uživatelského komfortu .....	67
2.4.3	Z hlediska provozování zařízení a ekonomiky provozu .....	68
<b>3</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>69</b>
<b>ČÁST C - EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ</b>		
<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>72</b>
<b>2</b>	<b>EXPERIMENT .....</b>	<b>73</b>
2.1	Popis měření .....	73
2.2	Metoda měření .....	75
2.3	Popis přístrojové techniky .....	75
2.4	Naměřená data .....	78
2.5	Měření počtu částic a objemového množství vzduchu .....	81
2.5.1	Operační pole .....	81
2.5.2	Odvodní anemostat a stěnová mřížka (rohová část OS) .....	81
2.5.3	Vstupní dveře do operačního sálu .....	81
2.5.4	Přehled výsledků měření ze dne 6. 10. 2016 .....	81
2.6	Vyhodnocení aerosolového mikroklimatu .....	93
2.7	Měření počtu částic a porovnání s akreditovanou laboratoří .....	94
2.8	Porovnání naměřených hodnot .....	98
2.9	Přehled odebraných vzorků .....	99
<b>3</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>102</b>



<b>1</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>103</b>
1.1	Publikace .....	103
1.2	Zákony, vyhlášky a nařízení vlády .....	104
1.3	Technické normy .....	104
1.4	Software .....	105
1.5	Měření + fotodokumentace .....	105
<b>2</b>	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>106</b>
<b>3</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>108</b>
<b>4</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>110</b>
<b>5</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>112</b>

## ÚVOD

Diplomová práce pojednává o filtraci vzduchu v systémech vzduchotechniky. Práce je rozčleněna na tři části:

### Analýza tématu a zvolené metody řešení

Zde se zabývám teoreticky filtrací částic ve vzduchu, možnými technickými řešeními v praxi a normovými a právními předpisy pro filtraci vzduchu ve vzduchotechnických systémech.

Informace uvedené v diplomové práci v následujících dvou částech jsou neveřejné s ohledem na citlivá data investora.

### Aplikace tématu na zadané budově

V této části jsou zpracovány dvě varianty ve formě studie technického řešení vzduchotechniky pro plastickou chirurgii. Jedná se o operační sál a jeho zázemí, ambulanci a další nezbytné prostory pro samostatný chod chirurgie.

### Experimentální řešení a zpracování výsledků

Experiment byl provedený na reálné budově v prostorách plastické chirurgie. Měřil jsem zde aerosolové mikroklima na operačním sále, provedl jsem jeho vyhodnocení a zařadil jej do třídy čistoty.





# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV  
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## ČÁST A: ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY

FILTRACE VZDUCHU V SYSTÉMECH VZDUCHOTECHNIKY  
THE FILTRATION IN AIR CONDITIONING SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Michal Viktorin

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2017



# 1 ÚVOD

O filtraci vzduchu v systémech vzduchotechniky jsem se začal zajímat při servisu a zprovoznování vzduchotechnických jednotek. Vzhledem k tomu kolik možných typů filtrů a stupňů filtrace a řešení se v dnešní době k použití nabízí trh, ve své práci se budu zabývat teoretickým řešením filtrace vzduchu, normovými a právními podklady a technickým řešením filtrace v praxi. Budu provádět měření aerosolového mikroklimatu a následné jeho vyhodnocení.

## 1.1 Analýza zadaného tématu

Filtrace vzduchu je u větrání a klimatizace nezbytný proces pro udržení požadované čistoty vzduchu ve větraném, klimatizovaném prostoru. Také patří mezi hlavní oblasti ochrany životního prostředí. Vzhledem k tomu, že člověk tráví čím dál více času ve vnitřním prostředí, filtrace vzduchu v budovách se stává nepostradatelnou. Filtrací vzduchu musíme chránit větrací a klimatizační zařízení a jiné technologie.

## 1.2 Cíl práce, zvolené metody řešení

Cílem práce je vyhodnocení aerosolového mikroklimatu prostor operačního sálu a chování, počtu částic ve vzduchu. K tomuto měření bude použit laserový počítací částic. Dále bude měřeno objemové množství vzduchu a počet částic ve vzduchu u přírodních a odtahových distribučních elementů. Součástí práce bude i posouzení zvolené metody filtrace vzduchu vzhledem k naměřeným koncentracím částic a účelu prostoru.

Dalším cílem je rozšíření teoretických znalostí v oblasti filtrace vzduchu a shrnutí možných technických řešení filtrace vzduchu.

## 2 NORMOVÉ A PRÁVNÍ PODKLADY

### 2.1 Normové podklady

ČSN EN 15 665 Z1 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov

ČSN EN 1 886 Větrání budov – Potrubí prvky – Mechanické vlastnosti

Jsou zde popsány příklady uložení filtru do vzduchotechnických zařízení, metodiky na hodnocení těsnosti filtrační komory

ČSN EN 13 779 Větrání budov – Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení

Odváděný, odpadní vzduch (EHA) je zde zatříděn do čtyř tříd podle množství škodlivin a dalších faktorů. Taktéž je zde uvedena klasifikace vzduchu venkovního (ODA), která je rozdělena do tří tříd. Je zde definovaná kvalita přiváděného vzduchu. Kvalita vzduchu musí být na požadované úrovni i po zvážení emisí od vnitřních zdrojů a vzduchotechnického systému. Přiváděný vzduch (IDA) (např. podle koncentrace CO<sub>2</sub>) je možné podle této normy zatřídit do čtyř tříd. Jsou zde popsány možné způsoby řízení kvality vnitřního vzduchu.

### 2.2 Filtry pro běžné větrání

ČSN EN 779 Filtry na odlučování částic pro všeobecné větrání – Stanovení filtračních parametrů

Podle ČSN EN 779 filtry musí být vyrobeny tak, aby bylo zabráněno nesprávné montáži, po montáži se na těsnící hraně filtru nesmí vyskytnout žádné netěsnosti, musí odolat teplotám, vlhkosti, korozivnímu prostředí po celou dobu jeho životnosti. Dále mechanickému namáhání, částice a jeho materiál, který se uvolní z něj po dobu jeho životnosti, nesmí ohrožovat a obtěžovat lidi a zařízení. Filtry se zatřídují podle tabulky uvedené níže, podle jejich střední účinnosti, nebo střední odlučivosti. Jsou zkoušeny na zkušební trati na průtok vzduchu 0,994 m<sup>3</sup>/s (3400 m<sup>3</sup>/h), pokud výrobce neurčí jmenovitý průtok.



Tab. 1: Třídění filtrů pro běžné větrání podle ČSN EN 779, zdroj [25]

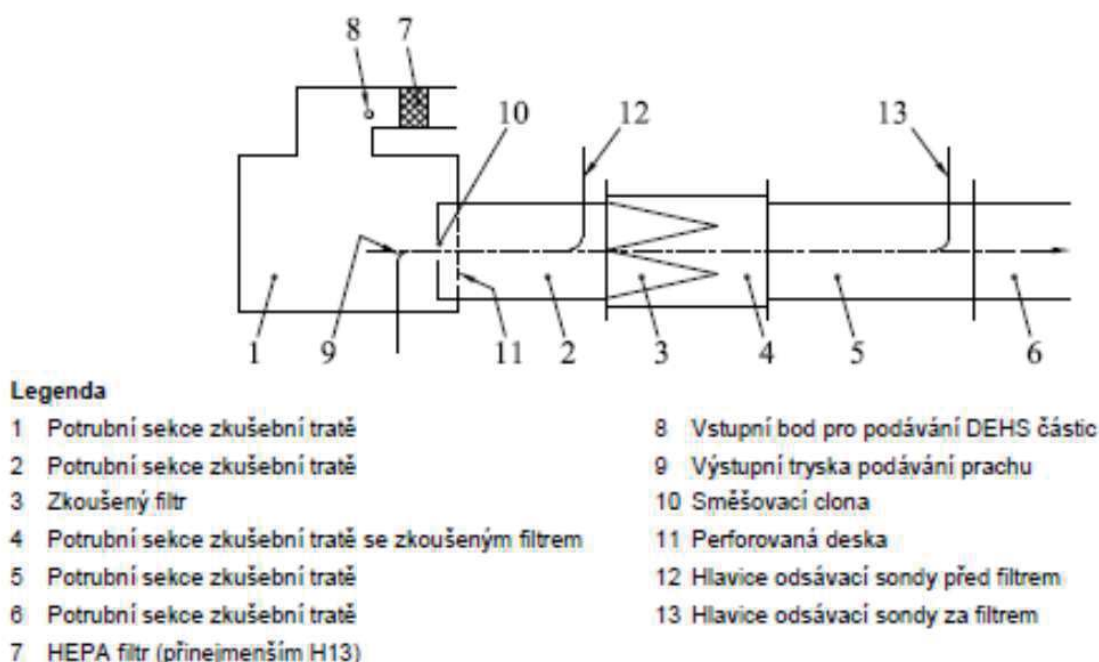
Skupina	Třída	Konečná tlaková ztráta (Pa)	Střední odlučivost $A_m$ (%)	Střední odlučivost $E_m$ (%)
<b>Hrubý</b>	G1	250	$A_m < 65$	
	G2	250	$65 \leq A_m < 80$	
	G3	250	$80 \leq A_m < 90$	
	G4	250	$90 \leq A_m < 95$	
<b>Jemný</b>	F5	450		$40 \leq E_m < 60$
	F6	450		$60 \leq E_m < 80$
	F7	450		$80 \leq E_m < 90$
	F8	450		$90 \leq E_m < 95$
	F9	450		$95 \leq E_m$

## 2.3 Zkoušení filtrů

Před zahájením zkoušení filtrů musí být otestována způsobilost zkušební tratě. Testuje se rovnoměrnost rychlosti proudu vzduchu ve zkušebním potrubí. Dále rovnoměrnost rozptýlení aerosolu ve zkušebním potrubí. Provádí se stanovení velikosti částic, nulový test laserovým počítačem částic, zkouška na přetížení laserového počítače částic. Dalšími zkouškami jsou 100 % účinnosti filtrace a 0 % účinnost filtrace. Kontroluje se tlaková ztráta, na základě které je i ověřena těsnost zkušební tratě. Testovány a kontrolovány jsou i další prvky, zařízení obsluhující měřící trať a jiné.

Během zkoušení filtru musí být zachyceno nejméně 98 % zátěžového prachu. Filtr nesmí ztratit, nebo získat více jak 1 gram hmotnosti (například vlivem změny tepelně vlhkostního mikroklima na zkušební trati) během jednoho zkušebního cyklu. Pro dosažení požadované odlučivosti na zátěžový prach větší jak 98 %, musí mít zkoušený filtr počáteční účinnost filtrace větší jak 75 % pro částice DEHS (DiEthylHesylSebacate) velikosti 0,4  $\mu\text{m}$ .

### 2.3.1 Zkušební trať



Obr. 1: Schéma zkušební tratě dle ČSN EN 779, zdroj [25]

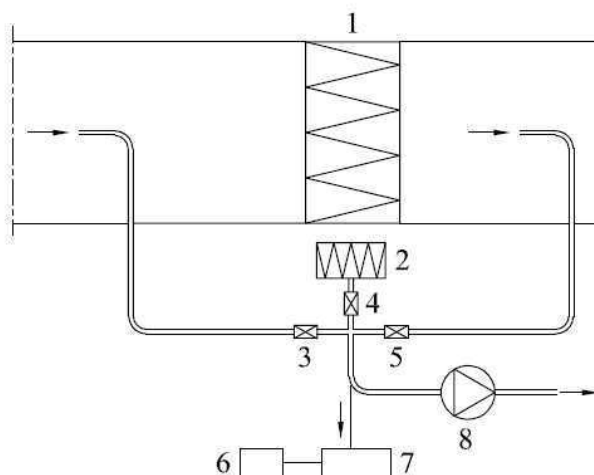
Zkušební trať je o jmenovitých rozměrech v celé délce o rozměrech 610 x 610 mm, pouze komora s filtrem má rozměry 622 x 622 mm. Délka komory pro filtr je minimálně 1,1 délky filtru nebo 1 m. Komora filtru musí být elektricky vodivá a uzemněna. Dále materiál musí být mechanicky odolný, hladký a tvarově stálý při změnách tlaku v komoře.

### 2.3.2 Odběr testovacího aerosolu

Odběr ve zkušební trati je prováděn před a za testovaným filtrem, je prováděn dvěma odběrovými trubicemi, které jsou připojeny na laserový počítač částic. Hlavy odběrových trubic se musí umístit do středu potrubí a jejich osa musí být rovnoběžná s proudem vzduchu. Vzorky se musí odebírat izokineticky v rozsahu 10 % při zkušebním objemovém průtoku 3400 m<sup>3</sup>/h. Izokinetický odběr je doporučen i v případě jiných objemových průtoků vzduchu. Vzorky se odebírají před filtrem, za filtrem a je také odebírán slepý vzorek přes HEPA filtr. Odebírání na více místech je umožněno ventilem s přímým tokem, který nezpůsobí ztráty částic při proudění přes něj. Po přepnutí ventilu je doporučeno první měření ignorovat z důvodu možných ztrát částic během odběru. Průtok odsávaného vzduchu včetně částic je udržován pomocnou pumpou laserového počítače částic. V tomto případě musí být odsávací trať vybavena izokinetickou sondou a přímo připojena

na laserový počítací částic. Měření objemového průtoku vzduchu musí být provedeno dle normy EN ISO 5167-1 a nejistota měření nesmí překročit 5 % měřené hodnoty.

Použitý laserový počítací částic musí zvládat měření počtu částic v rozsahu od 0,2  $\mu\text{m}$  do 3  $\mu\text{m}$ , přičemž účinnost čítání musí být pro částice 0,2  $\mu\text{m}$  větší, nebo rovno jak 50 %. Velikost částic by měla být ekvidistantní v logaritmickém měřítku.



#### Legenda

- 1 Zkoušený filtr
- 2 HEPA filtr (čistý vzduch)
- 3 Ventil pro odběr vzorku před filtrem
- 4 Ventil pro odběr vzorku čistého vzduchu
- 5 Ventil pro odběr vzorku za filtrem
- 6 PC
- 7 Počítač částic
- 8 Pomocná pumpa

Obr. 2: Schéma trubic pro odběr vzorků aerosolu dle ČSN EN 779, zdroj [25]

### 2.3.3 Požadavky na zkušební vzduch

Pro zkoušky se používá venkovní vzduch, který je filtrován přes HEPA filtry tak, aby byl vyčištěn od částic obsažených ve venkovním vzduchu. Relativní vlhkost vzduchu nesmí překročit 75 %, výstupní vzduch může být odveden do venkovního prostředí, nebo do vnitřního, nebo cirkulován.

### 2.3.4 Zkušební aerosol

Vlastnosti zkušební aerosolu DEHS (DiEthylHesylSebacate) dle ČSN EN 779, zdroj [25]

**Vlastnosti DEHS:**

Hustota	912 kg/m <sup>3</sup>
Bod tání	225 K
Bod varu	529 K
Teplota vznícení	> 473 K
Tlak par	1,9 μPa při 273 K
Index lomu	1,450 při vlnové délce 600 nm
Dynamická viskozita	0,022 kg/m·s až 0,024 kg/m·s
Číslo podle CAS	122-62-3

### 2.3.5 Syntetický zátěžový prach

Označuje se jako ANSI/ASHRAE 52.2 a je složený z:

72 % z jemného zkušební prachu, který je složen z křemenného prachu od 1 μm až po 80 μm.

23 % hmotnosti sazí

5 % bavlněnými vlákny

## 2.4 Vysoce účinné filtry

Tyto filtry jsou označovány jako EPA - Efficient Particulate Air filter, HEPA - High Efficient Particulate Air filter a UPLA - Ultra Low Penetration Air filter.

ČSN EN 1822-1 Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA a ULPA) Část 1: Klasifikace, ověřování vlastností, označování

ČSN EN 1822-2 Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA a ULPA) Část 2: Výroba aerosolu, měřicí zařízení, statické počítání částic

ČSN EN 1822-3 Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA a ULPA) Část 3: Zkoušení plochých filtračních médií

ČSN EN 1822-4 Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA a ULPA) Část 4: Stanovení propustnosti filtračních prvků

## ČSN EN 1822-5 Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA a ULPA) Část 5: Stanovení účinnosti

Tab. 2: Třídění vysoce účinných filtrů dle ČSN EN 1822-1, zdroj [26]

**Table 1 — Classification of EPA, HEPA and ULPA filters**

Filter Group Filter Class	Integral value		Local value <sup>a b</sup>	
	Efficiency (%)	Penetration (%)	Efficiency (%)	Penetration (%)
E 10	≥ 85	≤ 15	--- <sup>c</sup>	--- <sup>c</sup>
E 11	≥ 95	≤ 5	--- <sup>c</sup>	--- <sup>c</sup>
E 12	≥ 99,5	≤ 0,5	--- <sup>c</sup>	--- <sup>c</sup>
H 13	≥ 99,95	≤ 0,05	≥ 99,75	≤ 0,25
H 14	≥ 99,995	≤ 0,005	≥ 99,975	≤ 0,025
U 15	≥ 99,999 5	≤ 0,000 5	≥ 99,997 5	≤ 0,002 5
U 16	≥ 99,999 95	≤ 0,000 05	≥ 99,999 75	≤ 0,000 25
U 17	≥ 99,999 995	≤ 0,000 005	≥ 99,999 9	≤ 0,000 1

<sup>a</sup> See 7.5.2 and EN 1822-4.  
<sup>b</sup> Local penetration values lower than those given in the table may be agreed between supplier and purchaser.  
<sup>c</sup> Group E filters (Classes E10, E11 and E12) cannot and shall not be leak tested for classification purposes.

V normě ČSN EN 1822 jsou uvedeny jednotlivé individuální metody měření a přístroje, které musí být použity k měření. Požadavky na zkušební vzduch jsou stejné jako u filtrů pro běžné větrání. Relativní vlhkost musí být menší než 75 % a teplota se má pohybovat v rozmezí 23±5°C. V průběhu testování se teplota nesmí odchýlit o více jak ±2°C a relativní vlhkost ±5%. Minimální velikost testovaného filtru je 200 x 200 mm.

Jako zkušební aerosol nemusí být použity jen materiály DEHS, PAO a PSL. Je možno použít i jiné materiály, které vyhovují EN 1822-4:2009. Množství aerosolu musí být po celou dobu zkoušky konstantní.

Tyto filtry se technicky zkouší velmi podobně jako filtry pro běžné větrání. Stanovuje se jejich filtrační odlučivost, průnik částic.

Vyhodnocení těchto zkoušek je ale více složitější než u filtrů pro běžné větrání.

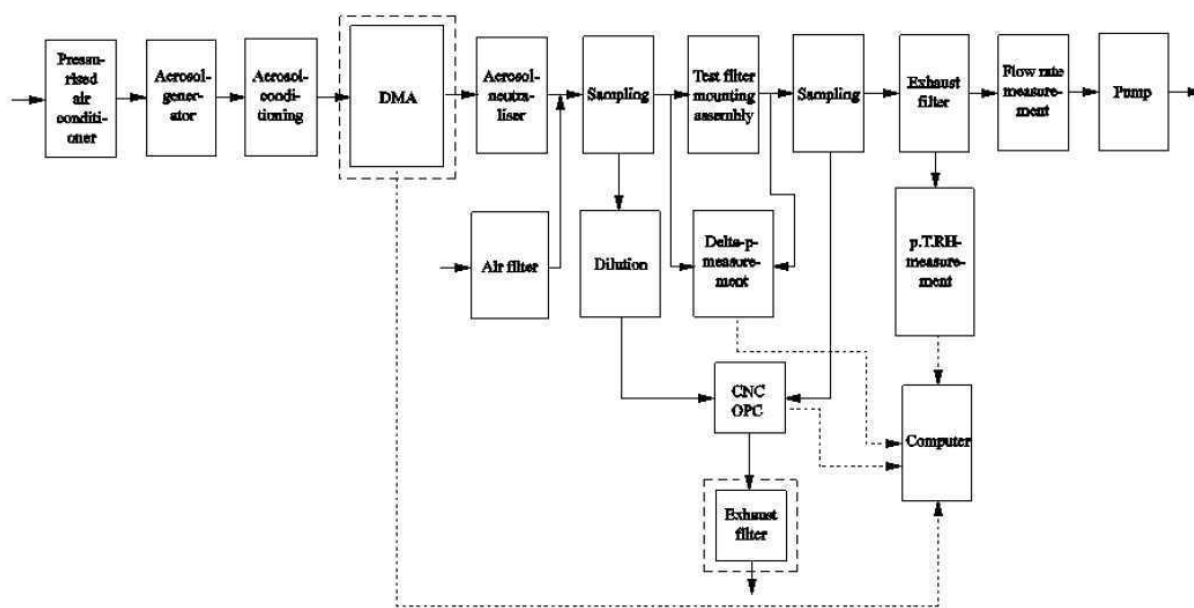


Figure 1 — Arrangement of apparatus for testing the filter medium

Obr. 3: Uspořádání zkušebního zařízení pro testování filtru, zdroj [26]

Aerosolový generátor produkuje částice, poté tyto částice projdou přes zařízení, ve kterém se například zbaví rozpouštědel a neutralizují se před smícháním s testovacím vzduchem.

Před a za filtrem jsou místa pro odběr vzorků, přes které se připojí k laserovému počítači částic. Odběrové sondy jsou umístěny proti proudu a po proudu vzduchu. U měřícího bodu, který je připojen proti proudu vzduchu, je ještě umístěno zařízení, které odloučí těžké částice a teprve poté dojde k čítání částic. Čítání částic může být prováděno podle následujících dvou metod.

Při používání metody CNC (Count counting method) je součástí měřící trati také diferenciální elektrický mobilní analyzátor (DMA), je vložen před aerosolový neutralizátor a jeho funkcí je odloučení monodisperzních frakcí o určitých velikostech z polydisperzního aerosolu.

Pokud použijeme metodu OPC, velikosti frakcí mohou být měřeny u polydisperzního aerosolu před zkoušeným filtrem a za ním.

Při měření mohou být použity dva laserové počítače částic, které mají shodnou vlnovou délku zdroje světla.

Po odběru vzorku za filtrem je testovací aerosol zachycen na výstupním filtru a za filtrem se nachází ventilátor, který zajišťuje proudění vzduchu ve zkušební trati. Před ventilátorem je ještě umístěný regulátor průtoku vzduchu.

Vyhodnocení výsledků zkoušky se provádí minimálně na pěti vzorcích a sledují se tyto veličiny:

- the minimum efficiency
- the particle size at the minimum efficiency (MPPS)
- the pressure difference

[26]

## 2.5 Právní podklady

Ve vnitřním pracovním prostředí v souladu s hygienickými požadavky na pracovní prostředí stanovuje Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění pozdějších předpisů.

§ 42 (2) Při nuceném větrání musí být přiváděný vzduch filtrován a v zimě ohříván. Oběhový vzduch musí být vyčištěn tak, aby zpětný vzduch přiváděný na pracoviště neobsahoval chemickou látku nebo prach v koncentraci vyšší než 5 % jejich přípustného expozičního limitu. Při použití teplovzdušného větrání nebo klimatizace nesmí podíl venkovního vzduchu poklesnout pod 15 % celkového množství přiváděného vzduchu.

[22]

Technické požadavky na stavby stanovuje Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů.

§ 10 (1) Stavba musí být navržena a provedena tak, aby neohrožovala život a zdraví osob nebo zvířat, bezpečnost, zdravé životní podmínky jejích uživatelů ani uživatelů okolních staveb a aby neohrožovala životní prostředí nad limity obsažené v jiných právních předpisech (Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, Vyhláška č. 380/2002 Sb., k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva.), zejména následkem

[23]

b) přítomnosti nebezpečných částic v ovzduší,

Pro pobytové místnosti hygienické limity stanoví Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.

### § 4 Chemické faktory a prach

(1) Limitní koncentrace chemických faktorů a prachu ve vnitřním prostředí staveb jsou stanoveny jako jednohodinové a jsou uvedeny v příloze č. 2 Vyhlášky č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.

(2) Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí staveb se pokládají za splněné, nepřekročí-li střední hodnota hodinové koncentrace zjišťované látky v měřeném intervalu za standardních podmínek limitní koncentrace uvedené v příloze č. 2. Vyhlášky č. 6/2003 Sb. kterou stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností někte-



rých staveb, ve znění pozdějších předpisů. Měřeným intervalem se postihuje potenciální expozice a variabilita koncentrací zjišťované látky. [24]

Tab. 3.: Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu, zdroj [24]

Ukazatelé	Limit
oxid dusičitý	100 $\mu\text{g.m}^{-3}$
frakce prachu PM10 <sup>1)</sup>	150 $\mu\text{g.m}^{-3}$
frakce prachu PM2,5 <sup>2)</sup>	80 $\mu\text{g.m}^{-3}$
oxid uhelnatý	5000 $\mu\text{g.m}^{-3}$
ozón	100 $\mu\text{g.m}^{-3}$
azbestová minerální vlákna <sup>3)</sup>	1000 $\text{m}^{-3}$
amoniak	200 $\mu\text{g.m}^{-3}$
benzen	7 $\mu\text{g.m}^{-3}$
toulen	300 $\mu\text{g.m}^{-3}$
suma xylenu	200 $\mu\text{g.m}^{-3}$
styren	40 $\mu\text{g.m}^{-3}$
etylbenzen	200 $\mu\text{g.m}^{-3}$
formaldehyd	60 $\mu\text{g.m}^{-3}$
trichloretylen	150 $\mu\text{g.m}^{-3}$
tetrachloretylen	150 $\mu\text{g.m}^{-3}$

<sup>1)</sup> Frakce prachu PM10 - prachové částice s převládající velikostí částic o průměru 10 mikrom, které projdou speciálním selektivním filtrem s 50 % účinností.

<sup>2)</sup> Frakce prachu PM2,5 - prachové částice s převládající velikostí částic o průměru 2,5 mikrom, které projdou speciálním selektivním filtrem s 50 % účinností.

<sup>3)</sup> Průměr vlákna < 3 mikrom, délka vlákna  $\geq 5$  mikrom, poměr délky a průměru vlákna je > 3:1.

<sup>4)</sup> Limity jsou stanoveny pro koncentrace látek vztažené na standardní podmínky.



## 3 TEORIE ODLUČOVÁNÍ ČÁSTIC

### 3.1 Princip odlučování částic

#### Teorie filtrace částic

Filtrace atmosférického vzduchu probíhá na principu odlučování částic např. ve vláknité vrstvě, která je složená z filtračních vláken. Dochází k zachytávání částic na filtračních vláknech a poté i na již odloučených částicích.



Obr. 4: Vláknitá vrstva kapsového filtru

Vláknité vrstvy se charakterizují těmito základními veličinami:

- tloušťka vrstvy  $s$ , která v závislosti na druhu a účelu použití filtračního materiálu dosahuje hodnot od desetin mm až po jednotky cm,
- poréznost  $\varepsilon$  nebo objemové zaplnění  $c$ , které jsou definovány jako poměr objemu vláken, resp. mezer, k objemu vrstvy. Musí proto platit  $\varepsilon + c = 1$ . Poréznost  $\varepsilon$  dosahuje v závislosti na druhu a účelu použití filtračního materiálu hodnot  $\varepsilon > 0,8$  (u vysoce účinných filtračních materiálů  $\varepsilon > 0,9$ ),
- střední aritmetický průměr vláken  $d_{N,1}$ , který opět závisí na druhu a účelu použití filtračního materiálu a např. u vysoce účinných filtrů dosahuje hodnot řádově desetiny až jednotky  $\mu\text{m}$ . [11]

Vlastnosti filtračního materiálu, určuje parametr vrstvy  $\lambda$ .

$$\lambda = \frac{a(1-\varepsilon)}{\pi\varepsilon} \frac{s}{d_{N,1}} \quad [11]$$

Se zvyšující hodnotou  $\lambda$ , narůstá odlučivost ve filtrační vrstvě. Úměrně s rostoucí odlučivostí dochází ke snižování poréznosti a nárůstu tlakové ztráty filtru.

**Intercepce** – Jedná se o přímé zachycení částic do filtračního materiálu při průchodu přes něj. K přilnutí dochází, pokud jsou částice vzdáleny od filtračního materiálu maximálně o polovinu jejich rozměru. Charakteristickým kritériem je parametr intercepce  $\alpha$ .

$$\alpha = \frac{a}{d} \quad [11]$$

kde:  $a$  průměr odlučované částice

$d$  průměr otvoru ve filtračním materiálu

**Impakce** – Setrvačné síly působí na částice, ty nesledují proud vzduchu, dostávají se do styku s povrchem filtračního materiálu a dochází k jejich odloučení. Uplatňuje se zejména při odlučování větších částic. Rozhodující je Stokesovo kritérium  $S_{tk}$ .

$$S_{tk} = \frac{\alpha^2 \rho_c}{18\eta} \cdot \frac{2v_\varepsilon}{d_{N,1}} \quad [11]$$

**Difúze** – Molekuly vzduchu narážejí na menší částice, které jsou rozptýleny ve vzduchu, způsobí jejich odchylení a následný styk s filtračním materiálem. Částice se ve vzduchu velmi nepravdělně pohybují z míst s vyšší koncentrací do míst s nižší koncentrací. Vnější a vnitřní setrvačné síly, mají malý význam. Tímto principem lze účinně odlučovat jemné částice. U difúzního odlučovacího principu je rozhodující kritérium  $P_e$ .

$$P_e = \frac{v_\varepsilon \cdot d_{N,1}}{D_B} \quad [11]$$

kde:  $d_{N,1}$  průměr vlákna

$v_\varepsilon$  rychlost odlučování částic je dána třemi odlučovacími principy - difúzním, intercepčním a setrvačným

$D_B$  součinitel difúze

Čím je částice menších rozměrů, tím narůstá její pohyblivost  $B$  a součinitel difúze  $D_B$ . Nejvýrazněji se nárůst projeví u částic  $a < 1$ , to je způsobeno korekcí odporu na skluzu plynu. Účinnost difúzní-

ho odlučování na izolovaném vlákne se snižuje s narůstající hodnotou Pecletova kritéria, tzn., že dochází k zvětšování velikostí částic.

**Elektrické síly** – Pohyb částic směrem k odlučovací ploše je vyvolán elektrickou silou působící na částice, popřípadě elektrostatickou silou. Dochází k zachytávání částic na materiálu, který má opačnou polaritu (kladnou/zápornou) než částice.

**Sedimentace** – Vlivem gravitace dochází k odchýlení částic z dráhy vzduchu a poté dochází k přilnutí k filtračnímu materiálu.

**Sítový efekt** – K zachycení částic při průchodu např. vláknitou či zrnitou vrstvou dochází na základě jejich velikosti. Částice větších rozměrů jsou zachyceny na filtračním sítu.

**Adheze** – Působením adhezních sil dochází k přilnutí částic na materiál.

### 3.2 Odlučivost filtrace podle ČSN EN 779

Odlučivost se stanovuje po každém stupni zatěžování filtru prachem.

Po dosažení nejbližší hodnoty tlakové ztráty se předtím zváženy koncový filtr vyjme ze zkušební trati a převáží. Nárůst váhy filtru představuje hmotnost prachu, který proniknul zkoušeným filtrem. Odlučivost  $A_j$  pro krok zatěžování prachem „j“ se vypočte následujícím způsobem:

$$A_j = (1 - m_j / M_j) 100 \quad (7)$$

kde je

$m_j$  hmotnost prachu pronikajícího filtrem (přírůstek hmotnosti koncového filtru  $\Delta m_{ff}$  a hmotnost prachu v kanále za filtrem  $m_d$ ) při fázi zatěžování prachem „j“;

$M_j$  hmotnost podaného prachu (dávka prachu  $\Delta m$ ) během zatěžovací fáze „j“.

Zkouška se ukončí, jestliže odlučivost je nižší než 75 % maximální hodnoty odlučivosti, nebo když dvě hodnoty jsou nižší než 85 % maximální hodnoty. Počáteční odlučivost se vypočte po první dávce 30 g zatěžovacího prachu.

Střední odlučivost se vypočte přinejmenším z pěti jednotlivých hodnot odlučivosti. Střední odlučivost  $A_m$  se vypočte podle vztahu:

$$A_m = (1/M) \times [M_1 \times A_1 + M_2 \times A_2 + \dots + M_n \times A_n] \quad (8)$$

kde je

$M = M_1 + M_2 + \dots + M_n$  celková hmotnost podaného prachu;

$M_1, M_2, \dots, M_n$  jsou hmotnosti prachu postupně podané do trati do dosažení konečné tlakové ztráty  $\Delta p_1, \Delta p_2, \dots, \Delta p_n$ .

Hodnoty odlučivosti nad 99 % se mají označit jako > 99 %.

Při vynášení plynulé křivky odlučivosti na podaném prachu se křivka musí proložit hodnotami odlučivosti vynesými v bodech uprostřed příslušných váhových přírůstků.

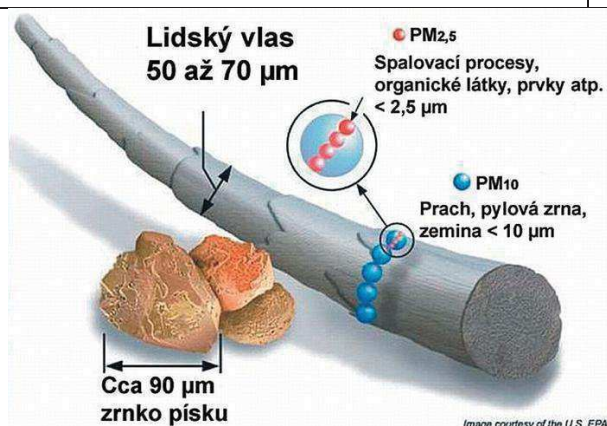
[25]

### 3.2.1 Velikosti částic

Pevné a kapalně částice jsou součástí vzduchu v různých koncentracích. Jejich složení se mění podle místních podmínek. Znečištění vzduchu se pohybuje v rozmezí  $0,1 \text{ mg/m}^3 - 1 \text{ mg/m}^3$ . Příměsi mají různé chemické složení, vznikají lidskou činností (průmysl, doprava), nebo jsou živočišného, rostlinného původu, dále erozí hornin atd. Velikost částic má vliv na jejich chování. Částice větší jak  $20 \text{ }\mu\text{m}$  rychle sedimentují a ve vzduchu se vyskytují v blízkosti jejich vzniku. Částice menší než  $0,1 \text{ }\mu\text{m}$  koagulují a vyskytují se ve shlucích o velikosti až  $0,5 \text{ }\mu\text{m}$ . Ve vzduchu 99 % částic je menších než  $1 \text{ }\mu\text{m}$ , ale z celkové hmotnosti částic obsažených v atmosférickém vzduchu zaujímají 10%. Dále je zásadní tvar, ideální částice je koule, ta vzniká kondenzací a tuhnutím par látek. Tvarově složitější částice, pak vznikají při mechanické práci, například při mletí. Při spalovacích procesech vznikají částice s dutinami.

Tab. 4: Velikostí typických příměsí ve vzduchu, zdroj [1]

Typická příměs ve vzduchu	Velikost částice [ $\mu\text{m}$ ]
viry	0,005 - 0,1
bakterie	0,2 - 20
výtrusy hub, mechu, lišejníků a kapradin	2 - 120
pyl	10 - 200
plísňe	2 - 100
cigaretový kouř	0,01 - 1
olejová mlha	0,04 - 1
saze	0,01 - 0,5
kouř (spalování organické hmoty)	< 1
lidský vlas	50 - 70



Obr. 5: Velikostí prachových částic, zdroj [12]

### 3.3 Třídy filtrace

#### 3.3.1 G – Hrubé filtry (Coarse filter)

Tab. 5: Rozdělení tříd hrubé filtrace, zdroj [13],[14],[25]

Třída filtrace	Vlastnosti a doporučené použití	Střední odlučivost na syntetický prach dle EN 779 [%]
G1 G2	<ul style="list-style-type: none"> <li>záchyt hrubý částic, nebo vláknitého prachu. Dále ochrana před hmyzem, hrubého popílku, písku, šterku, vodních kapek, textilních vláken, srsti zvířat, vlasů, listí apod.</li> <li>použití pro systémy s nejnižšími požadavky na filtraci. Jako předfiltry při vyšší koncentraci prachu, nebo více stupňové filtraci, ochrana výměníků, zvlhčovačů, ventilátorů, apod.</li> </ul>	<p>G1: částice &lt; 65 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>G2: 60 <math>\mu\text{m}</math> &lt; částice &lt; 80 <math>\mu\text{m}</math></p>
G3 G4	<ul style="list-style-type: none"> <li>účinné proti pylu, popílku a zvířecímu prachu</li> <li>použití pro obchodní domy, garáže, sportovní haly, filtrace odpadního vzduchu, v dopravních prostředcích, vzduchové a dveřní clony. Jako předfiltry při vyšší koncentraci prachu, nebo více stupňové filtraci, ochrana výměníků, zvlhčovačů, ventilátorů, apod.</li> </ul>	<p>G3: 80 <math>\mu\text{m}</math> &lt; částice &lt; 90 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>G4: 90 <math>\mu\text{m}</math> &lt; částice</p>



### 3.3.2 F – Jemné filtry (Fine filter)

Tab. 6: Rozdělení tříd jemné filtrace, zdroj [13],[14],[25]

Třída filtrace	Vlastnosti a doporučené použití	Střední odlučivost na atmosférický prach dle EN 779 [%]
F5  F6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• částečně účinné pro záchyt výtrusů a bakterií (větší bakterie)</li> <li>• málo účinné pro záchyt proti tabákovému a technologickému kouři, sazím, olejové mlze</li> <li>• zachytávají účinně polétavý prach PM10 (aerosolové částice menší než 10 µm)</li> <li>• použití v průmyslu, kde jsou vyšší nároky na čistotu, sklady, garáže, shromažďovací prostory, sportovní haly, školy, apod.</li> </ul>	<p>F5: 40 µm &lt; částice &lt; 60 µm</p> <p>F6: 60 µm &lt; částice &lt; 80 µm</p>
F7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• účinně zachytávají bakterie a výtrusy, jemné frakce cementového prachu, částice prachu PM2,5</li> <li>• částečně účinné pro záchyt sazí, olejové mlhy, tabákovému kouři</li> <li>• používají se jako koncové filtry u obchodních domů, v kancelářích, kuchyně</li> <li>• dále se používají pro telefonní ústředny, dílny přesné mechaniky a optiky, rozhlasová televizní studia, apod.</li> </ul>	<p>F7: 80 µm &lt; částice &lt; 90 µm</p>
F8  F9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• velmi účinné proti olejové mlze, sazím, tabákovému kouři (technologické procesy, tabákový kouř), bakteriím</li> <li>• použití pro prostory s vyššími nároky na čistotu vzduchu jako jsou například pomocné prostory u operačních sálů, laboratoře, datová centra, farmaceutické výroby apod.</li> </ul>	<p>F8: 90 µm &lt; částice &lt; 95 µm</p> <p>F9: 95 µm &lt; částice</p>

### 3.3.3 H – Mikročástice Hepa filter

Tab. 7: Rozdělení tříd velmi jemné filtrace, zdroj [14],[15],[26]

Třída filtrace	Vlastnosti a doporučené použití	Střední účinnost dle EN 1822 [%]
E 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>účinně zachytávají všechny druhy prachů a aerosolů</li> <li>použití v jaderných elektrárnách, operační sály, elektroniku a biologii, metrologické laboratoře pro kalibraci</li> </ul>	Celková hodnota 85 %
E 11	<ul style="list-style-type: none"> <li>velmi účinně zachytávají všechny druhy prachů a aerosolů, včetně virů</li> <li>použití pro náročnější aplikace v jaderných elektrárnách, operační sály, elektroniku a biologii, metrologické laboratoře pro kalibraci</li> </ul>	Celková hodnota 95 %
E 12 H 13	<ul style="list-style-type: none"> <li>vysoce účinné pro zachyt všech druhů prachů a aerosolů, včetně virů</li> <li>použití u filtrace čistých prostor třídy 100 – 100 000, v průmyslu, zdravotnictví a výrobě léků. Dále pro systémy, kde je nutná filtrace odsávaného vzduchu, jako jsou nebezpečné aerosoly z biologických laboratoří, zdravotnictví, jaderné elektrárny.</li> </ul>	<p>Pro E 12 celková hodnota 99,5 %</p> <p>Pro H 13 celková hodnota 99,95 % lokální hodnota 99,75 %</p>
H 14	<ul style="list-style-type: none"> <li>vysoce účinné pro zachyt všech druhů prachů a aerosolů, včetně virů</li> <li>použití v čistých prostorech třídy 10 a vyšší, nebo pro dodávky vzduchu v biotechnologii</li> </ul>	<p>Celková hodnota 99,995 %</p> <p>Lokální hodnota 99,975 %</p>

### 3.3.4 U – Mikročástice Ulpa filter

Tab. 8: Rozdělení tříd velmi jemné filtrace, zdroj [14],[15],[26]

Třída filtrace	Vlastnosti a doporučené použití	Střední účinnost dle EN 1822 [%]
U15	<ul style="list-style-type: none"> <li>účinně zachytávají všechny druhy prachů a aerosolů</li> <li>použití v jaderných elektrárnách, operační sály, elektroniku a biologii, metrologické laboratoře pro kalibraci</li> </ul>	Pro U15 celková hodnota 99,9995 % lokální hodnota 99,9975 %
U16		Pro U16 celková hodnota 99,99995 % lokální hodnota 99,99975 %
U17		Pro U17 celková hodnota 99,999995 % lokální hodnota 99,9999 %

## 4 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Při technickém řešení se filtry dají rozdělit na prachové a aerosolové. Filtrační materiály vláknité jsou vyrobeny ze syntetických nebo skleněných vláken. Pro zlepšení soudržnosti filtračního materiálu jsou spojeny impregnační látkou, nebo tepelným zpracováním. Dále se vyrábějí z jemnějších skleněných, syntetických (polyesterových) nebo organických (celulóзовých) vláken. Tyto materiály jsou nanášeny na nosný pojivý podklad. Nosný materiál zároveň zachytává úlomky filtračních vláken do vzduchu. Obvykle jsou tyto materiály na sebe vrstveny od nejhrubší struktury po jemnější.



## 4.1 Filtry

### 4.1.1 Kapsový

Filtr je tvořen hlubokými kapsami, které jsou vyrobeny z netkané textilie. Podle objemového průtoku se filtry vyrábějí s různým počtem kapes, jejich šířkami a hloubkami tak, aby byla zajištěna filtrační rychlost. Třída filtrace G3 – F9.



Obr. 6: Kapsový filtr

### 4.1.2 Deskový (Rámečkový)

Je složen ze skládaného syntetického materiálu se štěrbinami. Třída filtrace G4 – F5.

### 4.1.3 Kompaktní

Filtrační materiál tvoří filtrační papír ze skleněných vláken. Pro zajištění nízké filtrační rychlosti se materiál skládá do hlubokých skladů a takto vznikají filtrační vložky. Mají větší filtrační plochu až trojnásobně oproti kapsovému filtru, tím roste jejich životnost při menší tlakové ztrátě. Filtrační vložka je vyrobena ze skelných vláken. Třída filtrace F6 – H10 a vyšší.



Obr. 7: Vlevo nový HEPA filtr, vpravo HEPA filtr po 2 letech při nepřetržitém provozu systému vzduchotechniky.

#### 4.1.4 Kovový

Filtrační materiál je tvořen např. z proplétaného hliníkového pletiva (tahokovu). Třída filtrace G3.

#### 4.1.5 Tukový s vaničkou

Tukový filtr je obvykle tvořen kovovým filtrem s třídou filtrace G3. Pod filtrem se nachází tuková vanička pro zachycení odloučených tukových částic.

#### 4.1.6 Nanofiltry

Materiály, ze kterých se vyrábějí nanovlákná a poté nanofiltry, jsou nejčastěji na bázi PP, PE, dále vlákna uhlíková, skelná a kovová. Tyto materiály jsou velikosti nanometrů (1- 100 nm). Nanofiltry se v dnešní době využívají především ve vodárenství. S použitím ve vzduchotechnice jsou tyto filtry teprve na možném počátku.

#### 4.1.7 Elektrofiltry

U technologického větrání se pro odlučování kapalných a tuhých látek využívají elektrické odlučovače. Jsou schopny zachytit částice o velikosti 0,01 – 50  $\mu\text{m}$ . Tyto filtry mají velmi malé tlakové ztráty v porovnání s ostatními filtry. Regenerace se provádí mytím vodou.

### 4.1.8 Sorpční filtry

Filtrační materiál tvoří aktivní uhlí neimpregnované (pro běžné plyny), impregnované (pro zachycení hůře absorbovatelných plynů jako je např. metan, etan, CO<sub>2</sub>), aktivní koks, saze, nebo silikagel a jiné. Tyto materiály jsou většinou uloženy ve filtračních patronách, viz fotografie níže. Při filtraci dochází k zachytávání plynných látek na povrchu pevných látek. K odlučování plynných látek dochází na základě fyzikálního procesu působení van der Waalsových sil. Po zachycení plynů např. na aktivním uhlí dojde k chemické reakci mezi absorbovanou a sorpční látkou. Schopnost absorbovat plynné příměsi ve vzduchu je až 30 % (výjimečně 50 %) v závislosti na druhu materiálu. U sorpčních filtrů je důležité dodržet filtrační rychlost (0,05 - 0,5 m/s), kterou stanovuje výrobce. Nejpoužívanějším materiálem je aktivní uhlí. Jeho měrný povrch dosahuje až 750 - 1600 m<sup>2</sup>/g. Uhlí je impregnováno aktivními látkami tzv. reaktanty nebo tzv. katalyzátory. Filtr je tvořen kapslemi nebo deskovou filtrační vložkou. Kapsle tvaru válce a filtrační vložka je naplněna např. aktivním uhlím. Vzduch s příměsí plynných látek, které je nutno odfiltrovat, proudí směrem z vnějšku do vnitřního válce patrony. Před uhlíkové filtry je nutno umístit předfiltry (F7) z důvodu vysoké citlivosti na prach. Pro zachycení částic aktivního uhlí je vhodné umístit za filtr další filtr (F7) pro zachyt těchto částic. Účinnost filtrace a stupeň zanešení se u filtrů zjišťuje vážením kapsle s filtračním uhlím. Tlaková ztráta na straně vzduchu se stupněm zanešení filtrů se nezvyšuje. Pokud filtry neobsahují toxické, nebo radioaktivní částice je možné je reaktivovat. Tato reaktivace (regenerace) se provádí horkou parou a spaliny plynů při teplotě 850 °C.



Obr. 8: Filtrační patrona s aktivním uhlím

### 4.1.9 Proplétané vložkové filtry

Jsou vyrobeny z netkané textilie, která je mechanicky a tepelně zpevněna. Obvykle bývá napnuta mezi výztuhami v rámu. Zatřídují se do třídy filtrace G3.

### 4.1.10 Filtrace vzduchu ředěním

Jednou z metod v dnešní době nevědomě používané je filtrace vzduchu ředěním. Je používána při každodenní činnosti člověka, jako je například ředění v místnosti oxidu uhličitého. Do prostoru, kde se nacházejí částice, nebo plyny ve vzduchu o velké koncentraci, přivádíme vzduch s nižší koncentrací. Tímto způsobem jsou částice a plyny postupně ředěny a jejich koncentrace je snižována až na hladinu koncentrací přiváděných. Účinnost filtrace v tomto případě závisí na výměně vzduchu v místnosti a konkrétních koncentracích obsažených v přiváděném a odváděném vzduchu, dále na velikosti částic, objemové hmotnosti látek, které se snažíme odstranit ze zájmové oblasti. Tímto způsobem lze filtrovat částice prachového charakteru, olejové kouře, zárodky bakterií, smogové zátěže, tělesné zápachy, lehké těkavé uhlovodíky VOC, potravinářské a hnilobné zápachy a spoustu dalších.

## 4.2 Účinnost filtrace

Při návrhu stupně filtrace patří mezi hlavní parametry účinek odlučovací schopností filtru na odlučování nečistot a příměsí vzduchu, nebo-li tzv. účinnost filtrace. Účinnost závisí na frakční odlučivosti vláknité vrstvy, charakteru znečištění ovzduší pevnými a kapalnými částicemi, jejich relativní četností propadů nebo zbytků při průchodu filtračním materiálem. Při posouzení účinnosti filtrace (odlučivosti)  $O_c$  v praxi se obvykle posuzuje koncentrace těchto částic před filtrem  $k_p$  a za filtrem  $k_v$ .

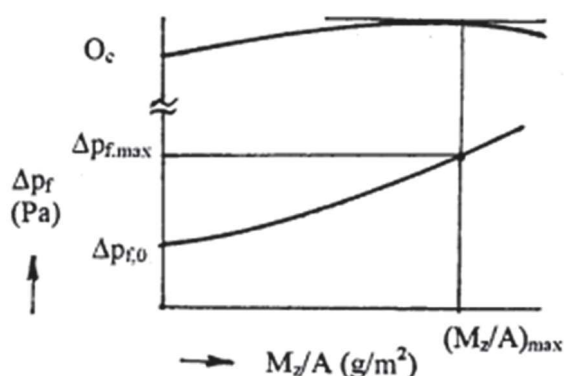
$$O_c = \frac{k_p - k_v}{k_p} \cdot 100 [\%] \quad [11]$$

Opačným případem celkové odlučivosti je celkový průnik.

$$P_c = \frac{k_v}{k_p} \cdot 100 [\%] \quad [11]$$

### 4.3 Tlaková ztráta filtru

Tlaková ztráta filtru bez zanešení v čistém stavu  $\Delta p_{f,0}$  se liší od tlakové ztráty filtračního materiálu  $\Delta p_{z,0}$ . To je způsobeno provedením filtru, tlakovou ztrátou (třením, na vstupu a výstupu), vliv má také změna směru proudu vzduchu. U filtrů neprotéká vzduch kolmo na jeho povrch, ale v závislosti na typu použitého filtru. Zanášení filtru a změna tlakové ztráty filtru a změna objemového průtoku vzduchu není zcela lineární.



Obr. 9: Stav filtru na konci životnosti

Obr. 10: Závislost změny tlakové ztráty filtru se zanášením, zdroj [11]

Na vodorovné ose je znázorněna poměrná hmotnost zachycených částic  $M_z$  a průtočná plocha filtračního materiálu  $A$ . Na svislé ose je vynesena změna tlakové ztráty  $\Delta p_f$  vůči počáteční tlakové ztrátě  $\Delta p_{f,0}$ . Závislost změny tlakové ztráty se zanášením filtru nemá u každého filtru stejný průběh a je nutno ji zjistit experimentálně. Na zanášení filtru má vliv tzv. filtrační rychlost, dále velikost a množství odlučovaných částic. Zejména velikost odlučovaných částic mění podstatně charakter závislosti  $\Delta p_f (M_z/A)$ , proto nelze převzít závislost zjištěnou v laboratoři se zkušebním prachem na atmosférický vzduch a v něm obsažené částice. Obecně platí, čím jsou částice menší (jemnější), při stejné hodnotě  $M_z/A$  změna  $\Delta p_f$  větší.

V průběhu zanášení filtru dochází ke změně tlakové ztráty ale také k změně odlučovacích vlastností. Při odlučování částic ve vláknité vrstvě dochází ke snižování poréznosti vrstvy. Následně se zvyšuje rychlost ve filtrační rychlost materiálu a vzrůstá dynamický účinek na odloučené částice. Celkový počáteční nárůst odlučivosti  $O_c$  se zanášením, lze vysvětlit zvyšováním hodnoty parametru vrstvy. Při dalším zanášení dochází k postupnému snižování odlučivosti vlivem strhávání již odloučených částic, které se postupně dostávají přes filtrační vrstvu. U filtrů atmosférického vzduchu se omezuje nárůst tlakové ztráty na určitou hodnotu právě z těchto důvodů uvedených výše. Obvykle se omezuje na dvojnásobek počáteční tlakové ztráty  $\Delta p_{f,0}$  případně na konkrétní

hodnotu stanovenou empiricky pro konkrétní lokalitu. Životnost filtru lze odhadnout ze známých vstupních koncentrací a jímavosti filtru. Jímavost filtru je vyjádřena hmotností zachyceného prachu  $M_z/A_{\max}$ , která odpovídá hodnotě  $\Delta p_{f,\max}$ .

Výrobci filtrů definují počáteční tlakovou ztrátu filtru, ta je uvažována na začátku životnosti filtru. Koncovou tlakovou ztrátou je pak stanovena maximální životnost filtru a po překonání této ztráty je nutné filtr ihned vyměnit za nový, aby nebyla snížena účinnost filtrace.

## 5 ZÁVĚR

V této části diplomové práce jsem se zabýval normovými a právními podklady pro běžné větrání a vysoceúčinnými filtry pro prostory, u kterých je definováno třída čistoty podle ČSN EN 14644-1 čisté prostory a příslušné řízené prostředí – část 1. Dále fyzikálním principy odlučování částic a odlučivosti filtrace podle ČSN EN 13 779 Filtry na odlučování částic pro všeobecné větrání a ČSN EN 1822 Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA a ULPA). Technickým řešením v praxi při filtraci vzduchu, především možnými typy filtrů. U většiny fotografií filtrů v této části jsem sám autorem a s velkou částí jsem se již v praxi setkal.



# 1 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

## 1.1 Publikace

- [1] SZÉKYOVÁ, Marta. Větrání a klimatizace. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 80-8076-037-3.

Internetové zdroje

- [11] HEMERKA, doc. Ing. Jiří Hemerka, CSc. Filtrace atmosférického vzduchu I [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/5815-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-i>
- [12] [online]. In: . [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: [http://files.fnano-products.webnode.cz/200000200-d3dfcd5d3f/velikost\\_prachovych\\_castic\\_big.jpg](http://files.fnano-products.webnode.cz/200000200-d3dfcd5d3f/velikost_prachovych_castic_big.jpg)
- [13] REMAK a.s. [online]. In: . [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: [http://www.remak.eu/sites/default/files/files/amc\\_catalogue.pdf](http://www.remak.eu/sites/default/files/files/amc_catalogue.pdf)
- [14] IB filtr s.r.o. [online]. In: . [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.ibfiltr.cz/tabulka-filtracnich-trid.php>
- VYBÍRAL, Ing. Pavel Vybíral, Ph.D. Filtrace ve VZT jednotkách pro nucené větrání rodinných domů I. [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/14330-filtrace-ve-vzt-jednotkach-pro-nucene-vetrani-rodinnych-domu-i>
- [15] HEMERKA, doc. Ing. Jiří Hemerka, CSc. Filtrace atmosférického vzduchu II [online]. In: . [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5843-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-ii>
- REMAK a.s. [online]. In: . [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: [http://www.remak.eu/sites/default/files/files/xp\\_catalogue\\_2.pdf](http://www.remak.eu/sites/default/files/files/xp_catalogue_2.pdf)
- [16] Výrobce REMAK a.s.
- [17] Fluke Corporation [online]. In: . [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: [http://media.fluke.com/documents/985\\_umeng0000.pdf](http://media.fluke.com/documents/985_umeng0000.pdf)
- [18] Testo [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: [https://media.testo.com/media/51/43/180850f3d452/testo-480\\_Data-Sheet.pdf](https://media.testo.com/media/51/43/180850f3d452/testo-480_Data-Sheet.pdf)
- [19] Testo [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <https://www.testo.org/en/home/products/productdetailpage.jsp?productNo=0563+4800#lg=1&slide=0>
- [20] Euremica [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: [http://www.euremica.com/downloads/1374152195Airflow\\_PH731\\_Data\\_Sheet.pdf](http://www.euremica.com/downloads/1374152195Airflow_PH731_Data_Sheet.pdf)

- [21] Euremica [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z:  
<http://images.euremica.com/images/products/1374151840-96024100.jpg>

## 1.2 Zákony, vyhlášky a nařízení vlády

- [22] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- [23] Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby
- [24] Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb, ve znění pozdějších předpisů
- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů

## 1.3 Technické normy

- ČSN EN 15 665 Z1 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov
- ČSN EN 1 886 Větrání budov – Potrubí prvky – Mechanické vlastnosti
- ČSN EN 13 779 Větrání budov – Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení
- [25] ČSN EN 779 Filtry na odlučování částic pro všeobecné větrání – Stanovení filtračních parametrů
- [26] ČSN EN 1822-1 Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA a ULPA) Část 1: Klasifikace, ověřování vlastností, označování
- ČSN EN 1822-2 Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA a ULPA) Část 2: Výroba aerosolu, měřicí zařízení, statické počítání částic
- ČSN EN 1822-3 Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA a ULPA) Část 3: Zkoušení plochých filtračních médií
- ČSN EN 1822-4 Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA a ULPA) Část 4: Stanovení propustnosti filtračních prvků
- ČSN EN 1822-5 Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA a ULPA) Část 5: Stanovení účinnosti



ČSN EN 14644-1 čisté prostory a příslušné řízené prostředí – část 1: Klasifikace čistoty vzduchu podle koncentrace částic

## **1.4 Software**

Autodesk AutoCAD 2016 – Čeština (Czech) ver. 19.1.18.0 [počítačový program] [cit. 2016-12-18]

Microsoft Office 365 ProPlus ver. 16.0.6965.2105 [počítačový program] [cit. 2016-12-18]

Teruna ver. 1.5b [počítačový program] [cit. 2016-12-18]

## **1.5 Měření + fotodokumentace**

Technika budov s.r.o, Křenová 42, 602 00 Brno, IČO 60711825

## 2 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Třídění filtrů pro běžné větrání podle ČSN EN 779, zdroj [25] .....	25
Tab. 2: Třídění vysoce účinných filtrů dle ČSN EN 1822-1, zdroj [26] .....	29
Tab. 3.: Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu, zdroj [24] .....	32
Tab. 4: Velikostí typických příměsí ve vzduchu, zdroj [1] .....	36
Tab. 5: Rozdělení tříd hrubé filtrace, zdroj [13],[14],[25] .....	37
Tab. 6: Rozdělení tříd jemné filtrace, zdroj [13],[14],[25] .....	38
Tab. 7: Rozdělení tříd velmi jemné filtrace, zdroj [14],[15],[26] .....	39
Tab. 8: Rozdělení tříd velmi jemné filtrace, zdroj [14],[15],[26] .....	40
Tab. 9: Místnosti u varianty číslo 1 .....	54
Tab. 10: Základní parametry vzduchotechnické jednotky u varianty číslo 1, zdroj [16] .....	57
Tab. 11: Výpočet tlumičů hluku .....	58
Tab. 12: Investiční náklady u varianty číslo 1 .....	59
Tab. 13: Místnosti pro variantu číslo 2 .....	62
Tab. 14: Základní parametry vzduchotechnické jednotky v hygienickém provedení u varianty číslo 2, zdroj [16] .....	64
Tab. 15: Základní parametry vzduchotechnické jednotky pro variantu číslo 2, zdroj [16] .....	66
Tab. 16: Investiční náklady pro variantu číslo 2 .....	66
Tab. 17: Hladiny akustického výkonu při provozu .....	67
Tab. 18: Technické parametry laserového počítací částic FLUKE 985, zdroj [17] .....	75
Tab. 19: Rozsah a přesnost přístroje Testo 480, zdroj [18] .....	77
Tab. 20: Rozsah a přesnost sondy 0635 1543, zdroj [18] .....	78
Tab. 21: Technické parametry Airflow, zdroj [20] .....	78
Tab. 22: Naměřená data 21. 9. 2016 .....	79
Tab. 23: Naměřená data 5. 10. 2016 .....	80
Tab. 24: Naměřené objemové průtoky vzduchu u vybraných místností .....	81
Tab. 25: Naměřená data 5. 10. 2016 .....	81
Tab. 26: Výkon vzduchotechnické jednotky v porovnání s výměnou vzduchu v operačním sále....	81
Tab. 27: Rychlost proudění vzduchu a počet částic naměřených při dané rychlosti v laminárním poli .....	83
Tab. 28: Objemový průtok vzduchu, počty částic naměřených u odvodního anemostatu a stěnové mřížky .....	84
Tab. 29: Přehled výsledků měření ze dne 6. 10. 2016 .....	86
Tab. 30: Postup výpočtu funkce pro stanovení počtu částic, v závislosti na násobnosti výměny vzduchu v prostoru .....	88

Tab. 31: Postup výpočtu funkce pro stanovení počtu částic v závislosti na rychlosti v laminárním poli a násobnosti výměny vzduchu v prostoru.....	90
Tab. 32: Postup výpočtu funkce pro stanovení počtu částic, v závislosti na násobnosti výměny vzduchu v prostoru .....	91
Tab. 33: Naměřené objemové průtoky vzduchu ve všech místnostech 1.NP .....	93
Tab. 34: Naměřená data 18. 10. 2016 .....	93
Tab. 35: Vyhodnocení naměřených dat přístrojem Fluke 985 .....	93
Tab. 36: Třídy čistých prostor dle ČSN EN 14664-1, zdroj [50].....	94
Tab. 37: Naměřená data 18. 10. 2016 .....	94
Tab. 38: Porovnání výsledků měření přístrojem FLUKE 985 a APC SmartTouch .....	99
Tab. 39: Naměřená data v průběhu provádění experimentu, seřazena sestupně .....	99

### 3 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma zkušební tratě dle ČSN EN 779, zdroj [25].....	26
Obr. 2: Schéma trubic pro odběr vzorků aerosolu dle ČSN EN 779, zdroj [25] .....	27
Obr. 3: Uspořádání zkušebního zařízení pro testování filtru, zdroj [26] .....	30
Obr. 4: Vlákenná vrstva kapsového filtru.....	33
Obr. 5: Velikosti prachových částic, zdroj [12].....	36
Obr. 6: Kapsový filtr.....	41
Obr. 7: Vlevo nový HEPA filtr, vpravo HEPA filtr po 2 letech při nepřetržitém provozu systému vzduchotechniky. ....	42
Obr. 8: Filtrační patrona s aktivním uhlím .....	43
Obr. 9: Stav filtru na konci životnosti.....	45
Obr. 10: Závislost změny tlakové ztráty filtru se zanášením, zdroj [11] .....	45
Obr. 11: Průběh tepelných toků vypočtených u referenční vypočtené místnosti.....	52
Obr. 12: Tlakové poměry v prostoru u varianty číslo 1 .....	53
Obr. 13: Kombinovaný laminární strop .....	55
Obr. 14: Sestavné vzduchotechnické jednotky pro variantu číslo 1, zdroj [16] .....	56
Obr. 15: Tlakové poměry v prostoru u varianty číslo 2 .....	60
Obr. 16: Rozdělení na funkční celky prostoru u varianty číslo 2.....	61
Obr. 17: Laminární strop.....	63
Obr. 18: Sestavná vzduchotechnická jednotka pro variantu číslo 2 v hygienickém provedení, zdroj [16].....	64
Obr. 19: Kompaktní vzduchotechnická jednotka pro variantu číslo 2, zdroj [16].....	65
Obr. 20: Půdorys 1.NP s vyznačenými body měření počtu částic .....	74
Obr. 21: Filtr STERAPORE – 30M0007H4 připojený k laserovému počítací částic. ....	75
Obr. 22: Přístroj Testo 480 včetně žárové sondy, zdroj [19].....	77
Obr. 23: Airflow, zdroj [21] .....	78
Obr. 24: Měření počtu částic laserovým počítací částic .....	80
Obr. 25: Část půdorysu 1.NP s vyznačenými body měření objemových průtoků vzduchu. ....	82
Obr. 26: Část půdorysu 1.NP s vyznačenými body měření počtu částic. ....	82
Obr. 27: Počet částic x rychlost proudění v operačním poli.....	83
Obr. 28: Měření rychlosti vzduchu pod laminárním stropem přístrojem Testo 480.....	84
Obr. 29: Počet částic x objemové průtoky vzduchu u odvodních distribučních elementů .....	85
Obr. 30: Měření objemových průtoků vzduchu přístrojem AIRFLOW (balometr).....	85
Obr. 31: Naměřený počet částic u dveří do operačního sálu.....	86
Obr. 32: Průměrný počet částic v prostoru ve 20 l vzduchu v závislosti na výměně vzduchu.....	87

Obr. 33: Průměrný počet částic ve 20 l vzduchu v závislosti na výměně vzduchu. ....	88
Obr. 34: Počet částic v operačním poli v závislosti na výměně vzduchu .....	89
Obr. 35: Počet částic naměřených u dveří na operačním sálu x výměna vzduchu v prostoru .....	91
Obr. 36: Počet částic u odvodních distribučních elementů v závislosti na výměně vzduchu v prostoru .....	92
Obr. 37: Průměrný počet částic v prostoru při dané násobnosti výměny vzduchu.....	92
Obr. 38: Měření počtu částic FLUKE 985 pod laminárním polem. ....	95
Obr. 39: Měření počtu částic čítačem APC SmartTouch.....	95
Obr. 40: Počet částic obsažených ve vzduchu v závislosti na jejich frakci. ....	101

## 4 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČSN	Česká technická norma
EN	European Norm (Evropská norma)
EHA	Odpadní vzduch
ODA	Venkovní vzduch
IDA	Vnitřní vzduch
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
A <sub>m</sub>	Střední odlučivost během zkoušky až do dosažení konečné tlakové ztráty
E <sub>m</sub>	Střední účinnost filtrace pro částice 0,4 μm během celé zkoušky až o dosažení konečné tlakové ztráty (použitá pro zatřídění)
DESH	Sebacic acid-bis (2 ethyl hexyl-) ester (trivial name: di-ethyl-hexyl-sebacate)
PSL	Poly-Styrol Latex (solid spheres)
ANSI	American National Standards (Americký národní normalizační institut)
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
EPA	Efficient Particulate Air filter
HEPA	High Efficient Particulate Air filter
UPLA	Ultra Low Penetration Air filter
CNC	Count counting method
DMA	Differential electric mobility analyser (diferenciální elektrický mobilní analyzér)
OPC	Optical particle counter (optický počítač částic)
MPPS	The particle size at the minimum efficiency
PM	Particulate matter
ε	poréznost
c	objemové zaplnění
λ	parametr vrstvy
α	parametr intercepce
a	průměr odlučované částice
d	průměr otvoru ve filtračním materiálu
d <sub>n,1</sub>	průměr vlákna
D <sub>B</sub>	součinitel difúze
s	tloušťka vrstvy filtračního materiálu
S <sub>tk</sub>	Stokesovo kritérium
v <sub>ε</sub>	rychlost odlučování částic
Pe	Pecletono kritérium

G	Coarse filter (Hrubé filtry)
F	Fine filter (Jemné filtry)
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
VOC	Volatile organic compound (těkavé organické látky)
$O_c$	odlučivost
$k_p$	koncentrace částic před filtrem
$k_v$	koncentrace částic za filtrem
$P_c$	celkový průnik částic
$\Delta p_{f,0}$	tlaková ztráta filtru v čistém stavu
$\Delta p_{z,0}$	tlaková ztráta filtru v zanešeném stavu
$M_z$	hmotnost zachycených částic
A	průtočná plocha filtračního materiálu
$\Delta p_t$	tlakový rozdíl před zanešením a po zanešení filtru
RPD	realizační projektová dokumentace
$L_w$	celková hladina akustického výkonu
$L_{wA}$	celková hladina akustického výkonu s váhovým filtrem A



## 5 SEZNAM PŘÍLOH

- |    |        |      |   |
|----|--------|------|---|
| 1. | Výkres | 1:50 | Půdorys 1.NP – Technické řešení číslo 1 |
| 2. | Výkres | 1:50 | Půdorys 1.PP – Technické řešení číslo 1 |
| 3. | Výkres | 1:50 | Půdorys 1.NP – Technické řešení číslo 2 |
| 4. | Výkres | 1:50 | Půdorys 1.PP – Technické řešení číslo 2 |